

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕПЛОВАЯ РАБОТА КАМЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СО СТАЦИОНАРНЫМ ПОДОМ И НОВОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ

Аннотация

В настоящей статье описываются особенности тепловой работы и конструкции новых термических печей, построенных и эксплуатирующихся в условиях производственных ограничений.

Требования к качественному и энерго-эффективному производству готовой металлической продукции особенно проявляются при окончательной её термической обработке, целью которой является получение заданных физико-механических свойств изделий [1].

Термические печи машиностроительных заводов, относящиеся к классу камерных нагревательных печей, эксплуатируют в широком диапазоне температур, в основном, от 200 °С до 1250 °С. При этом режимы нагрева и охлаждения изделий, подвергающихся термообработке, зачастую устанавливают очень сложными, с большим количеством промежуточных выдержек при различных температурах, что обычно свойственно продукции тяжелого машиностроения [2, 3]. Но бывают и простые режимы нагрева и охлаждения, например, при закалке тонкого стального листа.

В данной статье идет речь о таком режиме термообработки, осуществляемом на одном из заводов Московской области.

Техническое перевооружение устаревших и строительство новых печей часто наталкивается на трудности при проектировании и строительстве, связанные с ограниченностью отводимого пространства в работающем цехе, заполненном различным технологическим оборудованием [4].

В связи с этим, приходится принимать нестандартные решения при конструировании рабочего пространства и системы отопления печи, но при этом требования к энерго-ресурсосбережению и качеству продукции остаются непреложными [5, 6].

Ключевые слова: конструкция камерных термических печей со стационарным подом, нагрев под закалку тонкого стального листа, система отопления, рекуперативные горелки, тепловая работа, волокнистые огнеупорные и теплоизоляционные материалы.

Abstract

This article describes the features of the heat work and the design of new thermal furnaces, built and operated in conditions of production constraints.

Requirements for high-quality and energy-efficient production of finished metal products are particularly evident in the final heat treatment, the purpose of which is to obtain the specified physical and mechanical properties of products [1].

Thermal furnaces of machine-building plants, belonging to the class of chamber heating furnaces, are operated in a wide range of temperatures, mainly from 200 °C to 1250 °C. In this case, the heating and cooling modes of products subjected to heat treatment are often set very complex, with a large number of intermediate exposures at different temperatures, which is usually

characteristic of heavy engineering products [2, 3]. But there are also simple modes of heating and cooling, for example, when hardening a thin steel sheet.

In this article we are talking about such a heat treatment mode, carried out at one of the plants in the Moscow region.

Technical re-equipment of obsolete and construction of new furnaces often encounters difficulties in designing and construction, related to the limited space available in the working shop filled with various technological equipment [4].

In this regard, we have to make non-standard solutions for the design of the working space and the furnace heating system, but the requirements for energy-resource saving and product quality remain unalterable [5, 6].

Keywords: the design of chamber thermal furnaces with a stationary hearth, heating for quenching of thin steel sheet, heating system, recuperative burners, thermal work, fibrous refractory and heat-insulating materials.

Компанией ООО «НПК»Уралтермокомплекс» совместно с кафедрой теплофизики и информатики в металлургии Уральского Федерального университета спроектирован и построен блок из трех каменных печей со стационарным подом для нагрева под закалку тонкого стального листа.

На рисунке 1 показан общий вид блока из трех печей камерного типа. Такая плотная компоновка печей связана с ограниченностью выделенной площади в цехе под строительство трех однотипных печей.

Стационарный под печей обусловлен применением механизации посадки и выдачи нагретого листа с помощью погрузчика автомобильного типа.

Нагреваемый лист размещается в печи на массивных, близко стоящих подставках, расположенных вдоль рабочего пространства, что связано с особенностью конструкции загрузочного механизма в виде вилки из продольных балок, установленных на автопогрузчике, на которых располагается лист. Такое размещение подставок (в отличие от располагаемых обычно поперек рабочего пространства) не позволяет монтировать топливосжигающие устройства на боковых стенках печи.

В связи с особенностями посадки и размещения в печи нагреваемого листа применена нестандартная для камерных печей система отопления.

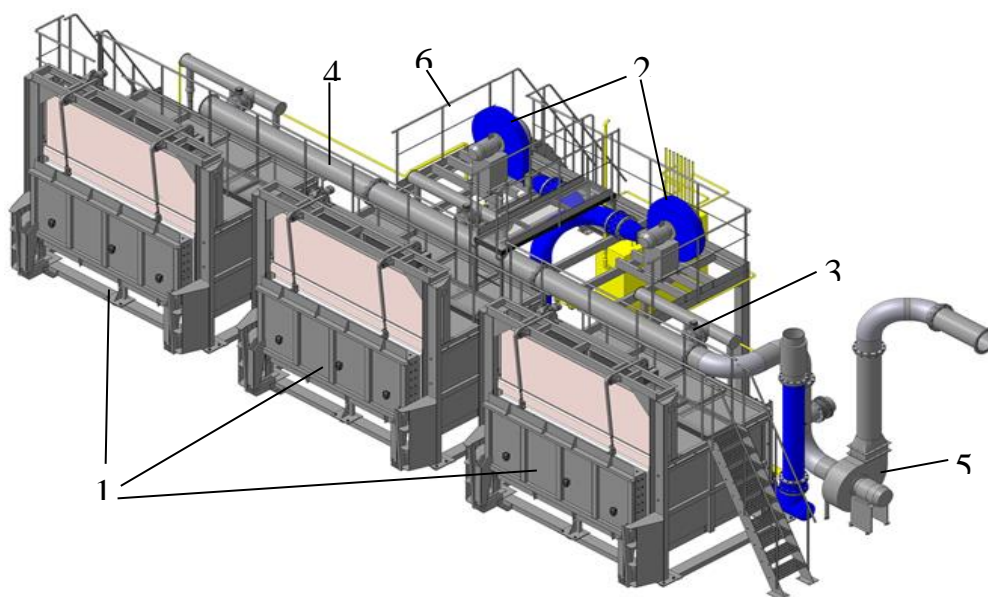


Рис. 1. Общий вид блока печей:

- 1 – блок из трех камерных печей со стационарным подом;
2 – основной и резервный вентиляторы; 3 – газораспределительное устройство;
4 – печной дымопровод; 5 – дымосос; 6 – рабочая площадка

На каждой из печей смонтированы на задней торцевой стенке три рекуперативные скоростные горелки фирмы «Кромшродер» [7, 8] (рисунок 2). Горелки расположены под сводом печи и создают скоростные факела, ударяющие в заслонку печи и в поперечную огнеупорную балку, от которой продукты горения отражаются, разворачиваются на 180° и движутся в обратном направлении над поверхностью нагреваемого листа, и под действием рекуперативных горелок и дымососа удаляются из печи. Таким образом, осуществляется «подковообразная» схема движения газов в печи с вовлечением части газов обратно в горящие факела, то есть «работает» циркуляционная схема, призванная обеспечивать равномерность температурных полей газового объема рабочего пространства и поверхности нагреваемого листа.

Рабочее пространство печи выполнено в виде прямоугольного параллелепипеда, стены и свод которого футерованы керамоволокнистыми блоками с классификационной температурой 1260°C и температурой длительного применения не более 1150°C .

Под печи выложен стандартным шамотным кирпичом (огнеупорный верхний слой) и кальций-силикатными плитами (теплоизоляционный слой).

Окно посадки металла закрывает подъемная заслонка, выполненная в виде самоприжимающейся к раме печи конструкции, футерованной керамоволокнистыми блоками, выступающими для герметизации рабочего пространства внутрь печи по периметру окна.

Стены и плоский свод печей смонтированы из металлических листовых панелей, футерованных также керамоволокнистыми блоками.

Горелки трех печей имеют групповой подвод газа и воздуха и такой же отвод продуктов горения.

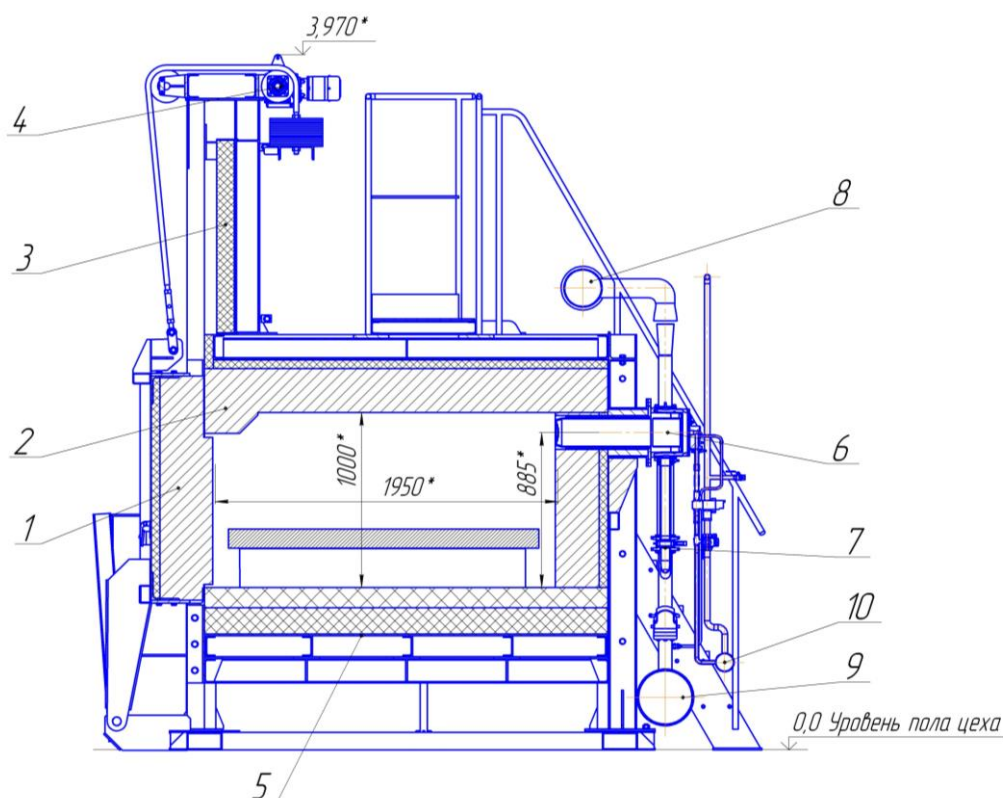


Рис. 2. Схема камерной печи со стационарным подом:

- 1 – заслонка; 2 – панельный плоский свод с поперечной балкой (притолокой);
- 3 – защитный экран; 4 – механизм подъема заслонки;
- 5 – стационарный под с металлической усиленной рамой; 6 – скоростная рекуперативная горелка; 7 – запорно-регулирующая арматура горелки;
- 8 – дымопровод; 9 – воздухопровод; 10 – газопровод

Каждая печь оснащена индивидуальной автоматической системой управления тепловым режимом (АСУ ТП).

После нагрева листа вместе с печью от холодного состояния по заданному технологическому режиму, лист помещается в специальный водоохлаждаемый пресс, предотвращающий коробление изделия при ускоренном охлаждении.

Тепловой режим печи ведется по показаниям термопары, установленной в своде печи и приближенной к поверхности нагреваемого листа.

Общая техническая характеристика печи приведена в таблице 1.

Для оценки тепловой работы печи и системы автоматического управления проведено комплексное исследование при осуществлении контролируемого нагрева листа под закалку.

Особое внимание уделено возможности разогрева рабочего пространства печи с садкой от холодного состояния с максимальной заданной скоростью до технологической температуры и поддержание её с помощью АСУ ТП (см. таблицу 1).

Из технической характеристики печи (таблица 1) видно, что полезная масса нагреваемого металла составляет всего 17 % от общей массы садки (масса листа плюс масса подставок). Поэтому, учитывая требования максимальной скорости разогрева от холодного состояния печи и всей садки 300 °С/ч (таблица 1), исследование возможности осуществления этого условия проведено так, что сначала печь разогревали с садкой и фиксировали скорость подъема температуры, а после этой процедуры на поверхность разогретого металла раскладывали в различные точки переносные гибкие (кабельные) термопары, и фиксировали во времени температуру технологической выдержки, и работу АСУ (ТП) по поддержанию заданной равномерности нагреваемого листа.

Таблица 1

Техническая характеристика камерной термической печи со стационарным подом и торцевым размещением топливосжигающих устройств

Наименование параметра	Единицы измерения	Величина
Размеры рабочего пространства:		
длина	мм	1950
ширина	мм	2700
высота	мм	1000
Режим работы		периодический
Максимальная масса нагреваемого металла	кг	500
Максимальная масса садки с опорными подставками	кг	2900
Температура нагрева металла (максимальная)	°С	1050
Температура в рабочем пространстве (максимальная)	°С	1070
Максимальная скорость нагрева садки с печью	°С/ч	300
Топливо, теплота его сгорания	кДж/м ³	природный газ, 34000
Тип горелок		Рекуперативные, скоростные Ecomax 3, ElsterKromschroder, Германия
Количество горелок на печи	шт	3
Номинальная тепловая мощность горелки	кВт	120
Номинальный расход газа на одну горелку	м ³ /ч	12
Максимальный расход воздуха на одну печь (для горения газа и создания разрежения в рекуператорах с целью дымоудаления из печи)	м ³ /ч	927

Схема установки термопар на поверхности нагретого листа показана на рисунке 3.

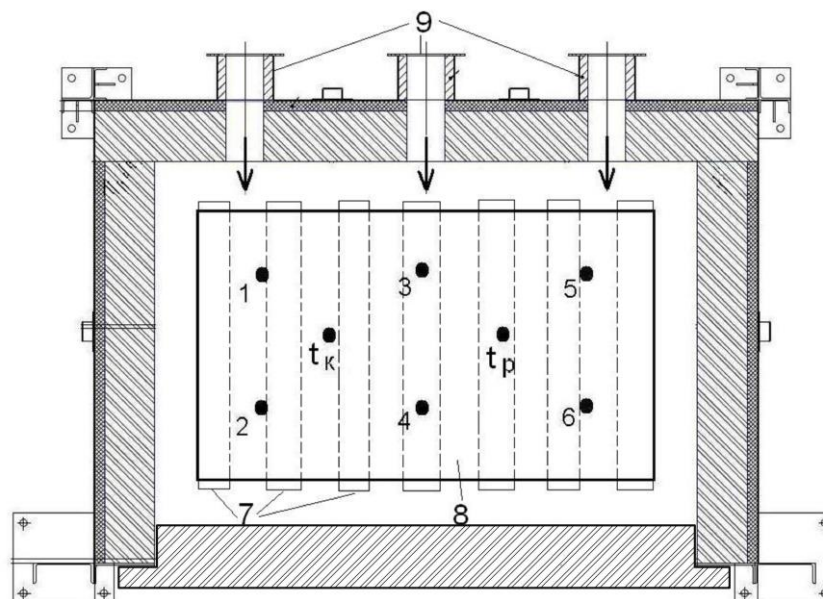


Рис. 3. Схема размещения в рабочем пространстве печи подставок, нагрываемого листа и спаев термопар:

1...6 – контрольные термопары, установленные на поверхности листа,
 t_p – основная рабочая стационарная термопара, t_k – контрольная стационарная термопара;
 7 – опорные подставки; 8 – нагрываемый лист; 9 – горелки

Результаты измерения температуры поверхности металла и рабочего пространства печи представлены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение во времени температуры поверхности листа и печной среды

№ ТП	Время, мин							$\Delta t_{\max}, ^\circ\text{C}$
	0	10	20	30	40	50	60	
1	960	960	969	968	965	965	964	9
2	967	961	973	961	972	970	963	12
3	960	961	962	961	962	963	964	4
4	960	960	967	961	966	962	961	7
5	962	962	963	964	964	960	961	4
6	964	962	972	967	970	967	966	10
t_p	967	962	967	967	968	968	965	6
t_k	973	971	973	971	973	975	973	4

Примечание: В данном режиме нагрева садки АСУ ТП должна была поддерживать технологическую температуру печи $t_p = 965 ^\circ\text{C}$ по показаниям рабочей термопары t_p (t_k – контрольная термопара).

Анализируя результаты измерения температуры поверхности листа (таблица 2) в течение одного часа выдержки при постоянной температуре печи, наблюдали максимальные колебания температуры от 4 до 12 $^\circ\text{C}$, в разных точках листа во времени от τ_0 до τ_{60} мин, которые возникали в результате работы АСУ (ТП), управляющей работой горелок, то есть газодинамикой рабочего пространства печи. Такая работа АСУ признана вполне удовлетворительной.

По прошествии 60-ти минут технологической выдержки при постоянной рабочей температуре печи колебания температуры на поверхности прогретого листа не превышали установленных техническим заданием $\Delta t_{\text{пов}} = \pm 5 ^\circ\text{C}$, что подтвердило возможность установки горелок на задней стенке печи.

Тем не менее, в процессе пуско-наладочных работ было установлено, что при возврате газов в сторону горелок происходило «расслоение» газового потока, приводящее к сосредоточению продуктов горения в верхней части рабочего пространства печи и к недостаточному их движению под нагретым листом между подставками, представляющими самую массивную часть садки.

При проектировании такой системы отопления в дальнейшем необходимо моделировать газодинамику печи в зависимости от расположения изделий в садке и установления высоты свода над поверхностью металла.

Для выявления основных показателей тепловой работы печи был составлен реальный тепловой баланс [9], который представлен в таблице 3.

Таблица 3

Тепловой баланс действующей печи

Приход теплоты			Расход теплоты		
Статьи	МДж	%	Статьи	МДж	%
Химическая теплота топлива	4,114	89,5	Нагрев листа	0,325	7,1
Физическая теплота подогретого воздуха	0,483	10,5	Потери теплоты с уходящими газами	1,830	39,8
			Нагрев подставок	1,558	33,9
			Потери теплопроводностью и с аккумуляцией футеровкой	0,884	19,2
Итого	4,597	100	Итого	4,597	100

Примечание: Тепловой баланс составлен при работе печи за время 3,18 часа, включающем подъем температуры печи с садкой и выдержку.

Основные теплотехнические показатели печи составили:

- коэффициент полезного действия $\eta = 7,1 \%$;
- удельный расход условного топлива

$$b_{\Sigma} = \frac{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,31 \cdot G_{\text{м}}} = \frac{4114000}{29,31 \cdot 0,5} = 280 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{т}}.$$

Низкий КПД объясняется малой массой металлического листа и значительными затратами тела на нагрев приспособлений (подставок), а высокий удельный расход топлива вызван теми же причинами и значительным временем выхода печи на режим. Но, как правило, термические печи, работающие по периодическому режиму нагрева металла, имеют невысокие удельные показатели работы, объясняемые приведенными выше причинами.

Главным в работе термических печей является строгое соблюдение технологического регламента, где на первое место выходят такие показатели, как соблюдение графика температурного режима нагрева металла, и получение в результате этого заданных физико-механических свойств термообработанных изделий.

В данном случае, для улучшения показателей работы печи необходимо, прежде всего, изменить конструкцию и схему посадки подставок с целью резкого снижения их массы, что позволит еще увеличить скорость подъема температуры печи вместе с садкой, и резко поднять КПД печи и снизить удельный расход топлива.

Необходимо также осуществить дополнительное компьютерное моделирование газодинамики рабочего пространства печи с целью выявления оптимального положения горелок для усиления интенсивности движения продуктов горения под нижней поверхностью листа и между подставками, что приведет к увеличению скорости разогрева печи вместе с садкой из холодного состояния и, как следствие, к повышению производительности печи и равномерности нагрева изделия.

Список использованных источников

1. Определение поля температур в рабочих валках холодной прокатки при скоростном нагреве в камерной печи / М.Д. Казяев, Ю.А. Самойлович, Д.М. Казяев, А.М. Вохмяков, Д.И. Спитченко // Известия вузов. Черная металлургия. Т. 60, № 8. 2017. – С. 616–621.
2. Нагревательные и термические печи Стальпроекта / В.Л. Гусовский, А.Е. Лившиц, А.Б. Усачев. – М.: 2015. – 284 с.
3. Методика и результаты исследования сложного внешнего теплообмена в вертикальной камерной печи для термообработки длинномерных изделий / М.Д. Казяев, А.М. Вохмяков, Е.В. Киселев, Д.И. Спитченко // Известия вузов. Черная металлургия. Т. 58. № 9. 2015. – С. 667–671.
4. Камерная печь с разделяющимся рабочим пространством / А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев, Е.В. Киселев // Теория и практика тепловых процессов в металлургии: сборник докладов международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 176–182.
5. Основные направления ресурсо-энергосбережения в черной металлургии / Г.М. Дружинин, Л.А. Зайнуллин, М.Д. Казяев, Н.А. Спирин, Ю.Г. Ярошенко, М.В. Губинский // Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В.Е. Грум-Гржимайло. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 205–213.
6. Современные направления энергосбережения в нагревательных печах / М.Д. Казяев, Д.М. Казяев, А.М. Вохмяков // Новые направления в области теплотехнического строительства: IV международный конгресс. – М.: 2015. – С. 40–60.
7. Исследование тепловой работы проходной печи для нагрева медных слэбов, оснащенной рекуперативными горелками / А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев, Б.Н. Арсеев, Д.М. Казяев, А.Ф. Спиглазов // Труды международной научно-практической конференции. «Творческое наследие Б.И. Китаева». – Екатеринбург: УрФУ, 2009. – С. 337–340.
8. Исследование тепловой работы камерных вертикальных термических печей с различными системами отопления и конструкциями футеровок. М.Д. Казяев, А.М. Вохмяков, Е.В. Киселев, Д.И. Спитченко, Д.М. Казяев, А.О. Еремин // Творческое наследие В.Е. Грум-Гржимайло: сборник докладов международной научно-практической конференции. В 2 ч. Часть 1 (26–29 марта 2014 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 246–259.
9. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Под ред. А.С. Телегина. – М.: Металлургия. 1982. – 358 с.

УДК 669.1.022; 622.7:669.1

В. Г. Карелин¹, Л. А. Зайнуллин^{1,2}, А. Ю. Епишин¹

¹ ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ ЛИСАКОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Аннотация

Проведены исследования разложения гидратного фосфорсодержащего компонента в лисаковском железорудном концентрате с целью определения кинетики процесса. Удаление фосфора из железорудного концентрата на стадии подготовки к металлургическому переделу возможно после высокотемпературного окислительного обжига материала и последующего сернокислотного выщелачивания. Из исходного концентрата гидрометаллургическим способом фосфор не выщелачивается. Необходимо при помощи